

## Manual de construção e utilização de extratores de cápsula porosa para obtenção da solução do solo





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Meio-Norte  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 0104-866X

Dezembro, 2006



## ***Documentos 142***

# **Manual de construção e utilização de extratores de cápsula porosa para obtenção da solução do solo**

**Flávio Favaro Blanco**

**Teresina, PI  
2006**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Meio-Norte**

Av. Duque de Caxias, 5.650, Bairro Buenos Aires

Caixa Postal: 01

CEP: 64006-220 Teresina, PI

Fone: (86) 3225-1141

Fax: (86) 3225-1142

Home page: [www.cpamn.embrapa.br](http://www.cpamn.embrapa.br)

E-mail: [sac@cpamn.embrapa.br](mailto:sac@cpamn.embrapa.br)

**Comitê de Publicações**

Presidente: Milton José Cardoso

Secretária-Executiva: Ursula Maria Barros de Araújo

**Membros:** Alitieni Moura Lemos Pereira, Angela Pucknik Legat, Humberto Umbelino de Sousa, José Almeida Pereira, Eugênio Celso Emérito Araújo, Cláudia Sponholz Belmino e Aderson Soares de Andrade Júnior

Supervisor editorial: Lígia Maria Rolim Bandeira

Revisor de texto: Lígia Maria Rolim Bandeira

Normalização bibliográfica: Orlane da Silva Maia

Editoração eletrônica: Erlândio Santos de Resende

**1ª edição**

1ª impressão (2006): 300 exemplares

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Meio-Norte

---

Blanco, Flávio Favaro.

Manual de construção e utilização de extratores de cápsula porosa para obtenção da solução do solo / Flávio Favaro Blanco. - Teresina : Embrapa Meio-Norte, 2006.

36 p. ; 21 cm. - (Documentos / Embrapa Meio-Norte, ISSN 0104-866X ; 142).

1. Fertirrigação. 2. Solução do solo. I. Embrapa Meio-Norte. II. Título. III. Série.

---

CDD 630.2516 (21. ed.)

© Embrapa, 2006

# **Autor**

**Flávio Favaro Blanco**

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e  
Drenagem, Embrapa Meio-Norte,

Caixa Postal 01, CEP 64006-220 Teresina, PI  
flavio@cpamn.embrapa.br

# **Apresentação**

A agricultura no Brasil vem passando por um processo de grandes mudanças, sobretudo na utilização de técnicas modernas de produção, como é o caso da fertirrigação. A fertirrigação é uma excelente ferramenta para aumentar a produtividade das culturas e utilizar os fertilizantes de forma mais racional, mas pode acarretar prejuízos econômicos e ambientais se não for utilizada de forma correta.

Neste manual é apresentado um equipamento de grande utilidade para o correto manejo da fertirrigação, que é o extrator da solução do solo. Com este equipamento, o produtor ou o técnico responsável pela produção poderá determinar com rapidez e facilidade a concentração de vários nutrientes na solução do solo e, com isso, fazer ajustes nas quantidades de fertilizantes aplicadas para cada cultura, evitando a falta ou excesso de cada nutriente.

O presente documento descreve todo o processo de construção, instalação e utilização do extrator de cápsula porosa, como também fornece subsídios para que se possa realizar a determinação de nutrientes na solução coletada e interpretar os resultados obtidos.

*Valdemício Ferreira de Sousa*  
Chefe-Geral da Embrapa Meio-Norte

# Sumário

<b>Manual de construção e utilização de extratores de cápsula porosa para obtenção da solução do solo .....</b>	<b>9</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>9</b>
<b>Métodos para obtenção da solução do solo .....</b>	<b>11</b>
<b>A qualidade da solução extraída com o extrator de cápsula porosa .....</b>	<b>13</b>
<b>Construção do extrator de cápsula porosa .....</b>	<b>18</b>
<b>Teste do extrator .....</b>	<b>22</b>
<b>Instalação e utilização dos extratores de cápsula porosa .....</b>	<b>23</b>
<b>Análise da solução do solo .....</b>	<b>28</b>
<b><i>Interpretação dos resultados da análise da solução do solo .....</i></b>	<b>29</b>
<b>Limitações dos extratores de cápsula porosa .....</b>	<b>31</b>
<b>Considerações finais .....</b>	<b>32</b>
<b>Referências .....</b>	<b>33</b>

# Manual de construção e utilização de extratores de cápsula porosa para obtenção da solução do solo

---

*Flávio Favaro Blanco*

## Introdução

O conhecimento das propriedades químicas da solução do solo é de grande importância para o manejo racional da adubação, principalmente sob adubação de alta frequência, como é o caso da fertirrigação. A solução do solo pode ser definida como sendo a fase aquosa do solo e seus solutos que se encontram dissolvidos em um dado momento, dentre eles os solutos minerais ( $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^{--}$  etc) e orgânicos (aminoácidos, ácidos húmicos, enzimas etc).

Inicialmente, acreditava-se que o equilíbrio químico da solução do solo requeria a precipitação dos sais adicionados pela adubação, com a finalidade de manter a composição da solução constante, a qual era governada, principalmente, pelos minerais de origem do solo (CAMERON, 1911). Posteriormente, Hoagland, Martin e Stewart (1920) demonstraram que a concentração química da solução do solo poderia ser elevada pela adição de sais solúveis e que os elementos adicionados seriam os mesmos a apresentar aumento na concentração. A descoberta de Hoagland e seus colaboradores deu início ao estudo da composição química da solução do solo e as suas relações com a adubação e com o estado nutricional das plantas.

Praticamente todos os minerais existentes na natureza estão presentes na fase sólida dos solos e, teoricamente, podem ser liberados para a solução do solo pelo processo de intemperismo das rochas e minerais do solo. Tyler

e Olsson (2001) determinaram 60 elementos minerais na solução do solo, alguns com baixíssimas concentrações, como o Nb, cuja concentração foi de apenas 0,000025 mg L<sup>-1</sup>. Portanto, a solução do solo é complexa e é impraticável que queiramos conhecer todas as suas propriedades. Para fins práticos, apenas as concentrações dos principais nutrientes, como o nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e o potássio (K<sup>+</sup>), são suficientes para permitir um manejo satisfatório da fertirrigação, uma vez que fertilizantes nitrogenados e potássicos são comumente aplicados por este sistema.

A avaliação da solução do solo também é de grande utilidade no monitoramento da salinidade do solo e do risco de contaminação do solo e da água subterrânea por fertilizantes ou outros compostos químicos (como os defensivos agrícolas) e orgânicos, inclusive derivados do petróleo, lixiviados pela ação da chuva ou da irrigação excessiva. A utilização de extratores de cápsula porosa na avaliação de riscos ambientais é bastante comum, podendo-se citar os trabalhos realizados por Asadi et al. (2002), Carpena et al. (2002), Pilbeam et al. (2004), dentre outros.

A grande vantagem da utilização dos extratores na agricultura reside na rapidez para se obter a concentração de nutrientes no solo, permitindo ajustar de imediato as quantidades de fertilizantes aplicadas, sem a necessidade de aguardar vários dias para se ter os resultados, como ocorre na análise convencional de fertilidade do solo. Entretanto, para Smethurst (2000), as recomendações de adubação não são baseadas nas características químicas da solução do solo devido à dificuldade de obtenção da solução e determinação da concentração dos nutrientes e à alta variabilidade espacial e temporal da solução. No Brasil, já se têm muitos produtores realizando o manejo da adubação com base na solução do solo, principalmente para cultivos sob fertirrigação, mas esta metodologia ainda depende de uma calibração local baseada em observações de concentração de nutrientes versus produtividade.

Os extratores de cápsula porosa são de grande praticidade e a determinação da concentração de nutrientes na solução, utilizando-se de medidores com eletrodos para íons específicos, torna as análises



extremamente rápidas, precisas e de baixo custo, permitindo economia de até 85 % quando comparadas com análises realizadas em laboratórios (BLANCO, 1999). A utilização de várias baterias de extratores na área cultivada pode minimizar a variabilidade espacial, podendo-se obter uma média representativa da concentração de nutrientes na solução do solo numa determinada área.

## **Métodos para obtenção da solução do solo**

Diferentes métodos podem ser utilizados para a obtenção da solução do solo. Alguns métodos são apresentados por Wolt (1994), dentre eles o da centrifugação, deslocamento em coluna, extração em membrana sob pressão, extrato de saturação, extratos aquosos e métodos lisimétricos, incluindo o método do lisímetro de tensão, mais conhecido como método dos extratores de cápsula porosa. Segundo este autor, qualquer que seja o método de obtenção da solução do solo, um grande desafio tem sido comprovar que a solução obtida é uma representação fiel da solução antes da sua extração, pois a medição direta da composição da solução do solo ainda é impossível de ser realizada. Moss (1963) afirma que é razoável conceber que a solução deslocada venha das camadas externas do filme de solo, a qual, mesmo em equilíbrio, pode ser sensivelmente menos concentrada que a solução do solo como um todo.

Richards (1941) desenvolveu uma câmara de pressão constituída de uma membrana de celofane permeável por onde a solução seria extraída da amostra de solo. Entretanto, o método apresentava algumas características intrínsecas que limitaram o seu uso, como a necessidade de grande quantidade de amostra de solo (aproximadamente 3,5 kg), tempo excessivo para extração, podendo chegar a vários dias, e pequeno volume relativo de solução extraída (aproximadamente 50 ml).

Shimshi (1966) utilizou coletores da solução do solo (hastes de cerâmica) confeccionados a partir de placas porosas de cerâmica, as mesmas

utilizadas para obtenção da curva característica de retenção de água no solo. As hastes eram inseridas no solo por um certo período, durante o qual ocorria a absorção da solução do solo pela cerâmica porosa. A análise da solução compreendia um trabalhoso processo de lixiviação das hastes com água destilada para a retirada da solução dos poros, sendo as determinações iônicas corrigidas posteriormente para o volume de água destilada utilizado neste processo.

Nelson e Faber (1986) apresentaram uma variação do método do deslocamento em coluna visando facilitar a obtenção da solução do solo e concluíram que, apesar de ser mais simples que o método original, a metodologia era demasiadamente trabalhosa e inviável para aplicação nas análises de rotina em cultivos comerciais.

A utilização de cápsulas porosas para extrair a solução do solo é bastante difundida, principalmente devido ao fácil manejo, custo relativamente baixo e pelo fato do extrato obtido não requerer tratamentos prévios às determinações físico-químicas e à quantificação de seus componentes (MORAES; DYNIA, 1990). Com o auxílio dos extratores da solução do solo, podem-se conhecer os valores de pH, condutividade elétrica, nitratos e nitritos, assim como de outros elementos presentes que são de importância para a nutrição das plantas (BURGUEÑO; URIBE; VALENZUELA, 1994).

Existem cápsulas porosas fabricadas com diferentes materiais, como nylon, teflon, vidro e cerâmica, esta última mais comumente utilizada e mais facilmente encontrada no mercado. As características desejadas de uma cápsula de cerâmica é que esta possua diâmetro máximo do poro de 1 mm, pressão de borbulhamento em torno de 100 kPa, espessura da parede de 2,4 a 4,0 mm, condutância hidráulica de  $4,2 \cdot 10^{-6} \text{ L kPa}^{-1} \text{ s}^{-1}$  e capacidade de troca de cátions de 0,40 a 0,65 meq por cápsula (WENZEL; WIESHAMMER, 1995).

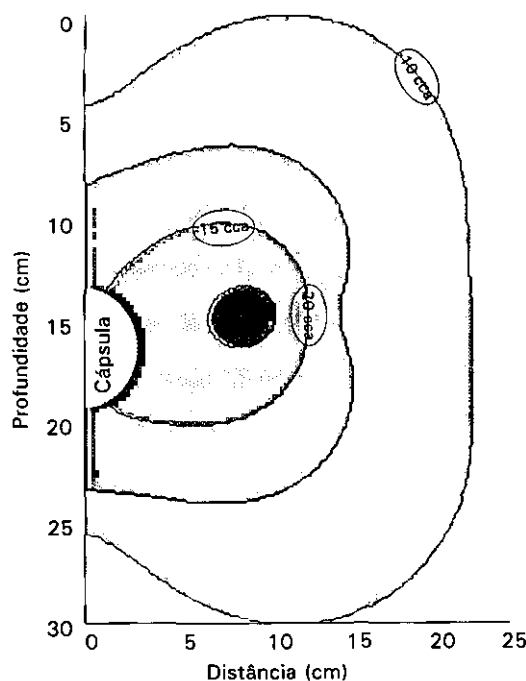
Wagner (1962) foi o primeiro a utilizar os extratores de cápsula de porosa de cerâmica para extrair a solução do solo, embora alguns autores, equivocadamente, atribuem a Reeve e Doering (1965) a invenção deste

equipamento. De fato, estes últimos foram os primeiros a apresentar dados de condutividade elétrica medida na solução extraída com cápsulas porosas, enquanto que Wagner (1962) realizou apenas uma avaliação do volume de solução coletado para diferentes umidades do solo e uma breve avaliação da adsorção de íons pela cápsula e sugeriu que a metodologia poderia ser utilizada para o estudo do balanço de nutrientes a diferentes profundidades.

## **A qualidade da solução extraída com o extrator de cápsula porosa**

A qualidade de solução obtida com os extratores de cápsula porosa tem sido tema de questionamentos, principalmente com relação à intensidade do vácuo aplicado, à zona de influência da cápsula, à liberação ou adsorção de íons pela cápsula e à volatilização de compostos promovida pelo vácuo.

A sucção promovida pelo vácuo gera um gradiente de potencial no solo em torno da cápsula e, como resultado, quanto maior o vácuo maior será a zona de influência ou o volume de solo amostrado (GROSSMANN; UDLUFT, 1991). Krone, Ludwig e Thomas (1952) mediram a variação de potencial mátrico ao redor da cápsula após aplicação de vácuo (-8,5 kPa) em um solo quase saturado e verificaram que a maior variação do potencial mátrico ocorreu próximo à cápsula, reduzindo linearmente com a distância, tanto na vertical quanto na horizontal (Fig. 1).



**Fig. 1.** Alteração no potencial mátrico (diferença entre o potencial mátrico antes e depois do vácuo) da solução do solo promovido pelo vácuo aplicado no extrator, em função da distância vertical e horizontal em relação à cápsula porosa.

Fonte: Krone, Ludwig e Thomas (1952), adaptada pelo autor.

No caso do trabalho de Krone, Ludwig e Thomas (1952) foi utilizado um solo peneirado que foi acondicionado homogeneamente no interior de um recipiente, o que contribuiu para a variação uniforme do potencial mátrico nas direções vertical e horizontal. Porém, deve-se considerar que, em condições de campo, não existe um solo perfeitamente homogêneo nas duas direções, o que pode resultar em diferenças de potencial desuniformes, fazendo com que a quantidade de solução coletada de cada direção seja diferente, como ilustrado na Fig. 2. Neste caso, a concentração de nutrientes na solução coletada é influenciada pela variabilidade espacial da concentração da solução no volume de solo sob influência da cápsula porosa e, também, pela variabilidade da condutividade hidráulica não-saturada do solo nas diferentes direções, que contribui para que diferentes volumes de solução sejam coletados de cada direção.

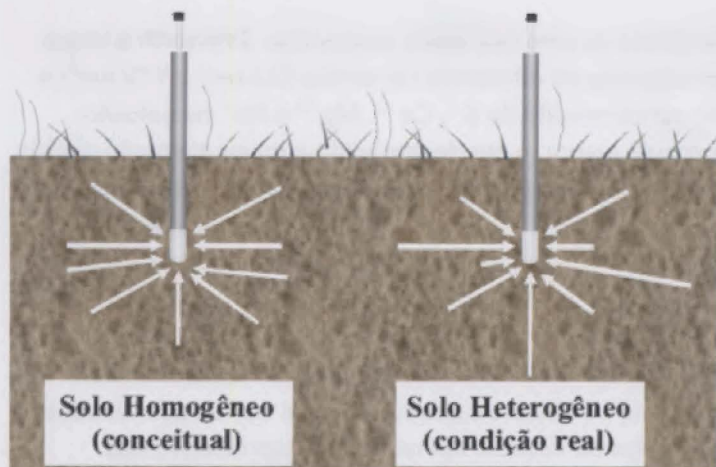


Fig. 2. Comparação do volume de solução coletado, em diferentes direções em relação à cápsula porosa, para um solo homogêneo e heterogêneo (seta maior = volume maior; seta menor = volume menor).

Outro problema relatado quando se utilizam extratores com cápsula de cerâmica é a adsorção ou retenção de íons pelo material da cápsula. Na sua fabricação, a cápsula passa por um processo de sinterização<sup>1</sup>, tornando o material amorfo, ou seja, o material sinterizado não apresenta qualquer afinidade química. Porém, este processo não ocorre totalmente e sempre há uma certa adsorção de certos íons, em maior ou em menor proporção, dependendo da qualidade da sinterização. Hansen e Harris (1975) verificaram que houve adsorção de P pela cápsula no início da coleta da solução e que a quantidade adsorvida reduziu rapidamente com o aumento do volume coletado, não ocorrendo adsorção após a saturação da cápsula com P. Para  $\text{NO}_3^-$  nenhuma adsorção ocorreu, concordando com trabalho realizado por Wagner (1962), no qual constatou-se a adsorção de  $\text{NH}_4^+$  na cápsula.

Existem cápsulas de diferentes tamanhos que podem ser utilizadas para coletar a solução do solo. Quanto maior a cápsula, maior será a superfície de contato da cápsula de cerâmica com a solução do solo e, com isso,

<sup>1</sup>Sinterização é o processo em que duas ou mais partículas sólidas se aglutinam pelo efeito do aquecimento a uma temperatura inferior à de fusão, mas suficientemente alta para possibilitar a difusão dos átomos das duas redes cristalinas (FERREIRA, 1986).

maior será a quantidade de íons que serão adsorvidos. Silkworth e Grigal (1981) utilizaram cápsulas de diferentes tamanhos (22 cm<sup>3</sup> e 112 cm<sup>3</sup>) e verificaram maior concentração de K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> e Na<sup>+</sup> na solução extraída com a cápsula menor, o que foi atribuído à maior adsorção desses íons na cápsula maior. Neste trabalho, os extratores foram instalados em área de floresta e, conseqüentemente, as concentrações de nutrientes medidas na solução eram bastante baixas, sendo que as concentrações máximas de K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> e Na<sup>+</sup> obtidas corresponderam a 1,4, 19,8, 18,0 e 10,8 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Em um cultivo comercial sob condições de adubação química, as concentrações de nutrientes são significativamente mais elevadas e é pouco provável que as quantidades de nutrientes adsorvidas na cápsula tenham efeito significativo nas concentrações medidas na solução obtida. Por outro lado, em estudos de dinâmica de nutrientes em áreas não-cultivadas (floresta, mata virgem etc), onde as concentrações de nutrientes são baixas, a adsorção de íons na cápsula porosa pode ter efeito bastante significativo na qualidade da solução coletada, a qual poderá apresentar grandes desvios na concentração de certos íons em relação à solução do solo em seu estado natural.

A coleta da solução do solo com os extratores de cápsula porosa também tem efeito sobre o pH da solução coletada. A extração da solução por métodos que utilizam vácuo é um fator de erro na determinação do pH, uma vez que ocorre a eliminação do CO<sub>2</sub> e outros compostos voláteis, o que faz aumentar o pH medido na solução (SUAREZ, 1987; WOOD et al., 1981). Isso não acontece, por exemplo, no caso da extração da solução do solo pelo método da centrifugação, como demonstrado por Miranda (1993), que extraiu a solução de um solo de textura argilosa pelo método da centrifugação e verificou que o pH da solução foi próximo do pH em água determinado no solo. No caso da extração por vácuo (cápsula porosa), quanto maior é o volume de solução coletado de modo que este se aproxime do volume total do extrator, menor é o erro. Para condições de campo, uma vez que a umidade do solo situa-se abaixo da umidade de saturação, o volume coletado corresponde de 10 % a 80 % do volume do extrator e o pH medido é em torno de 1,06 a 0,11 unidades de pH acima do pH real da solução (SUAREZ, 1987).

A qualidade da solução coletada pelos diferentes métodos sempre será motivo de discussão. Até mesmo o método do deslocamento em coluna, que é o método considerado como aquele que promove menor alteração nas características da solução do solo, possui certos problemas de ordem metodológica que interferem na concentração iônica da solução coletada. Por este método, uma amostra de solo seca ao ar e peneirada é umedecida com água destilada ou deionizada de modo que a umidade da amostra alcance um nível desejado, formando uma massa de solo úmido, da qual a solução é extraída. Entretanto, Qian e Wolt (1990) extraíram a solução do solo utilizando o método do deslocamento a vácuo e observaram que, em comparação com a solução obtida a partir de amostras que foram mantidas com a umidade em que foram coletadas, o processo de secamento-umedecimento promoveu redução do pH e aumento da condutividade elétrica e das concentrações de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Cl}^-$ . Portanto, a obtenção de uma amostra de solução que seja uma representação fiel da solução em seu estado natural não depende apenas do método utilizado para sua obtenção, dependendo também das alterações promovidas no processo como um todo.

Qualquer que seja o método utilizado para a obtenção da solução do solo haverá um erro envolvido na concentração iônica determinada na solução. Assim, o extrator de solução de cápsula porosa apresenta diversas vantagens sobre os demais métodos, pois permite que a solução seja obtida diretamente em campo, com o solo na umidade em que a solução apresenta a concentração iônica à qual as plantas estão diretamente submetidas. A facilidade, rapidez e baixo custo para a obtenção das amostras são fatores adicionais para que este método seja o mais adequado para o manejo da fertirrigação em cultivos comerciais.

## **Construção do extrator de cápsula porosa**

A construção do extrator da solução do solo é um processo artesanal, que deve ser executado com muito cuidado para que não haja falhas, como a existência de bolhas no procedimento de colagem da cápsula, o que poderá acarretar no mal funcionamento do equipamento.

### **Material necessário**

Para se construir um extrator de cápsula porosa, são necessários:

- Cápsula porosa.
- Tubo de PVC de meia polegada, para rosca.
- Fita adesiva.
- Cola araldite 24h.
- Faca ou canivete.
- Tubo de polietileno transparente.
- Rolha de borracha/silicone, própria para tensiômetros e extratores.

### **Passos para a construção**

1- O primeiro passo consiste em aumentar o diâmetro da cápsula porosa utilizando fita adesiva (Fig. 3A). Isso é necessário porque a cápsula possui diâmetro de meia polegada, ou seja, idêntico ao diâmetro do tubo de PVC onde esta será colada. Assim, o processo de preenchimento com a cola torna-se difícil, pois a menor falha no preenchimento poderá causar bolhas de ar, que se rompem quando o extrator estiver sob vácuo no campo, permitindo a entrada de ar. Aproximadamente cinco a dez voltas com a fita adesiva são suficientes.

Feito isso, coloca-se uma fita (uma volta) deixando em torno de três milímetros passando acima do nível do corpo da cápsula (Fig. 3B), formando um pequeno "poço" onde a cola será colocada (Fig. 3C).



2- Coloque a cola com o auxílio de uma espátula de metal ou de madeira (Fig. 4), indo até o fundo para garantir que não sobrem espaços vazios, os quais se formam facilmente devido à alta viscosidade da cola.

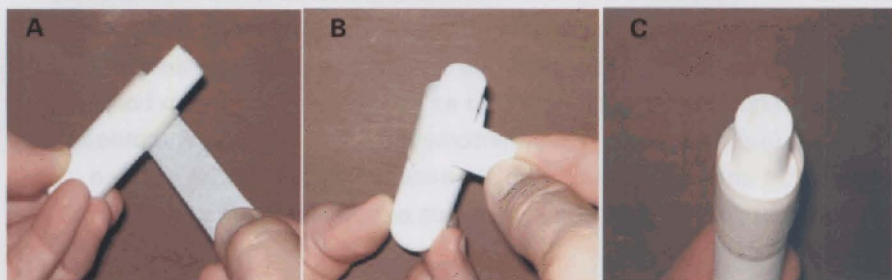


Fig. 3. Preparação da cápsula porosa para ser colada no tubo de PVC: (A) colocação da fita para aumentar o diâmetro; (B) colocação da fita superior para formação do "poço" que irá receber a cola; (C) detalhe da cápsula pronta.

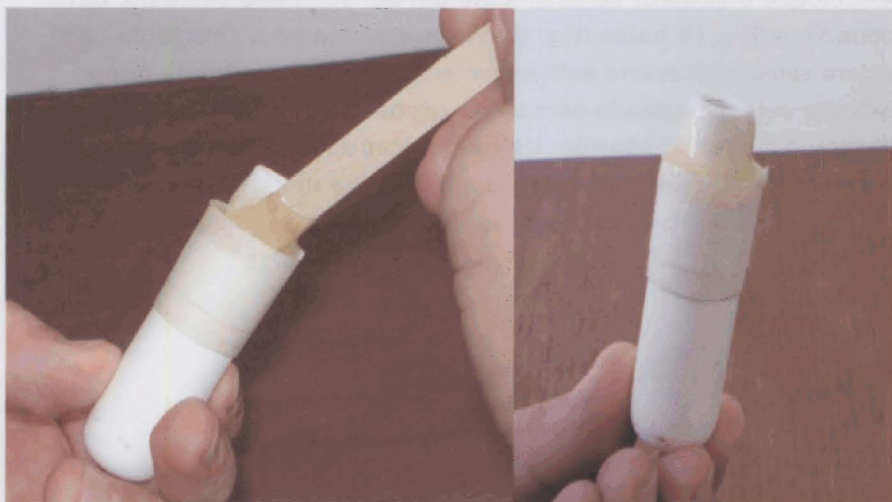


Fig. 4. Detalhe da colocação da cola na cápsula porosa.

3- Insira a cápsula no tubo de PVC verticalmente, sempre girando para o mesmo lado e vagarosamente, pressionando no final para garantir um bom ajuste entre o tubo e a cápsula (Fig. 5A). Apóie a cápsula sobre a mesa e, girando rapidamente e sem forçar o tubo para os lados, remova o excesso de cola com a espátula (Fig. 5B). É muito importante que a espátula não seja pressionada contra a cápsula no momento de remover o excesso de cola, pois isso poderia fazer com que a cápsula e o tubo perdessem o contato, o que aumentaria em muito as chances de ocorrerem bolhas de ar na região que está sendo colada (interseção cápsula/tubo). A remoção do excesso de cola é necessária, pois o excesso pode escorrer sobre a cápsula, tampando parte dos seus poros e reduzindo a eficiência do extrator no campo.

A partir do momento da colocação da cápsula no tubo, sempre mova o extrator apoiando a cápsula com a mão para que essa não se desprenda do tubo, pois a cola é de secagem lenta e, logo após a colocação, a cápsula pode desgrudar do tubo com muita facilidade.

4- Coloque o extrator verticalmente em um suporte e deixe por um período de 8 a 14 horas (Fig. 6). Após este tempo a cola ainda não estará seca, mas estará suficientemente rígida para permitir que o extrator seja manuseado sem haver riscos de formação de bolhas ou de desprendimento da cápsula. Utilize um instrumento ligeiramente cortante (faca, canivete, espátula afiada) para retirar as fitas adesivas e remover o excesso de cola que se formou entre a fita adesiva e o tubo.

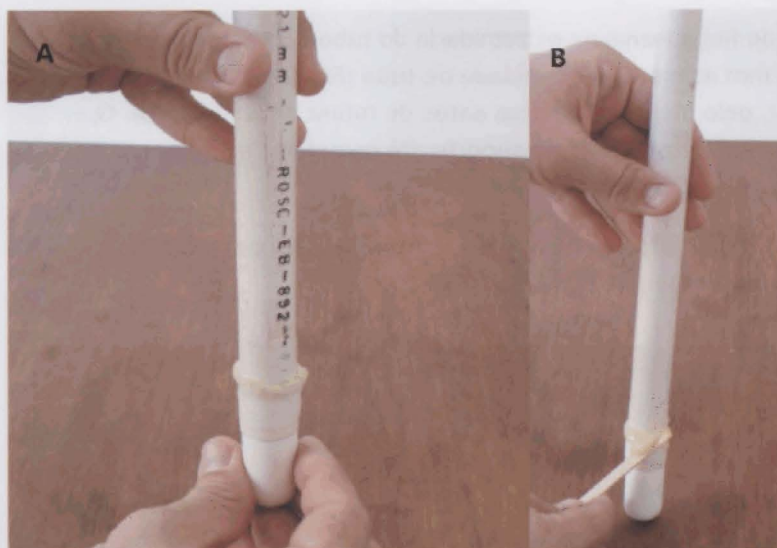


Fig. 5. Colocação da cápsula porosa no tubo de PVC (A) e remoção do excesso de cola (B).

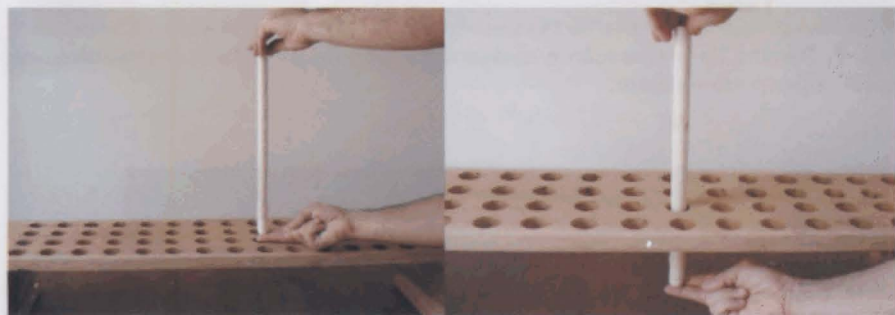


Fig. 6. Colocação do extrator no suporte (detalhe: cápsula porosa sempre sendo apoiada).

5. Corte um pedaço de aproximadamente 5 cm do tubo de polietileno transparente, coloque duas ou três voltas de fita adesiva em uma de suas extremidades para aumentar um pouco o diâmetro, o suficiente apenas para que este se encaixe e se fixe ao tubo de PVC, pois o tubo transparente apresenta diâmetro um pouco inferior ao tubo de PVC. Passe

uma volta de fita adesiva na extremidade do tubo de PVC, deixando em torno de 2 mm acima da extremidade do tubo (Fig. 7A). Preencha com cola e deixe por, pelo menos, 12 horas antes de retirar a fita (Fig. 7B). O extrator deverá permanecer no suporte até completar as 24 horas para o completo secamento da cola.

O extrator finalizado, pronto para ser instalado em uma cultura no campo, é apresentado na Fig. 8.

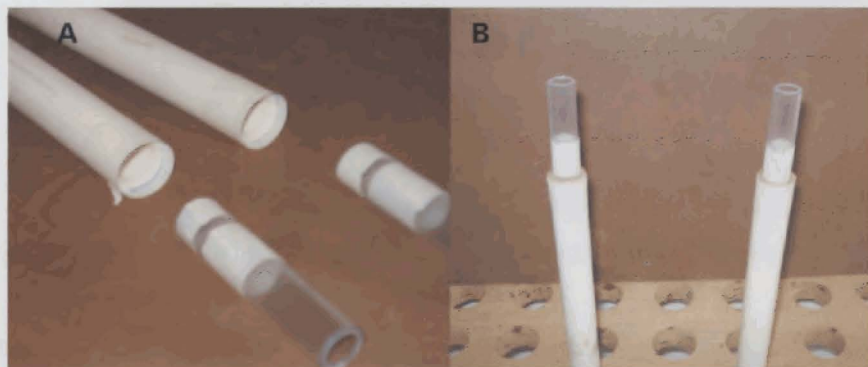


Fig. 7. Detalhe da preparação e colagem do tubo de polietileno transparente na parte superior do extrator.



Fig. 8. Extrator pronto para ser instalado no campo.

## Teste do extrator

É importante que o extrator seja testado antes de ser instalado no campo para verificar se há vazamentos nos locais que foram colados, ou mesmo para verificar se há rachaduras ou defeitos construtivos na cápsula. A presença de vazamentos promoverá a perda do vácuo dos extratores no campo, o que impossibilita a sucção da solução do solo.

O teste é feito pela aplicação de ar comprimido no extrator, o qual deve ter a sua cápsula saturada com água antes do teste. Para isso, coloque o extrator em pé, com a cápsula voltada para baixo, dentro de um balde com água pela metade e deixe por seis horas para que a água penetre nos poros da cápsula. Conecte o tubo de ar comprimido na extremidade do tubo transparente e mergulhe o extrator em uma bacia com água, de modo que este fique totalmente submerso. A formação de bolhas de ar na água indica o local do vazamento, caso haja. A pressão do ar comprimido para realização do teste deve ser de 100 a 200 kPa.

## Instalação e utilização dos extratores de cápsula porosa

A instalação dos extratores é feita utilizando-se de um trado de rosca de meia polegada de diâmetro. Caso não se disponha desse tipo de trado, então um trado holandês pode ser utilizado, ou, ainda, dependendo da profundidade de instalação e do tipo de solo, pode-se utilizar de um pedaço de tubo de PVC de meia polegada para abrir o furo no solo.

O furo a ser feito no local de instalação deve ter 3 cm a mais de profundidade do que aquela desejada, pois a profundidade de instalação é considerada como sendo a distância entre a superfície do solo e a região central da cápsula porosa (Fig. 9). É muito importante que o furo seja feito na vertical, tomando-se o devido cuidado para que o furo não fique torto, pois isso dificultará a instalação do extrator.

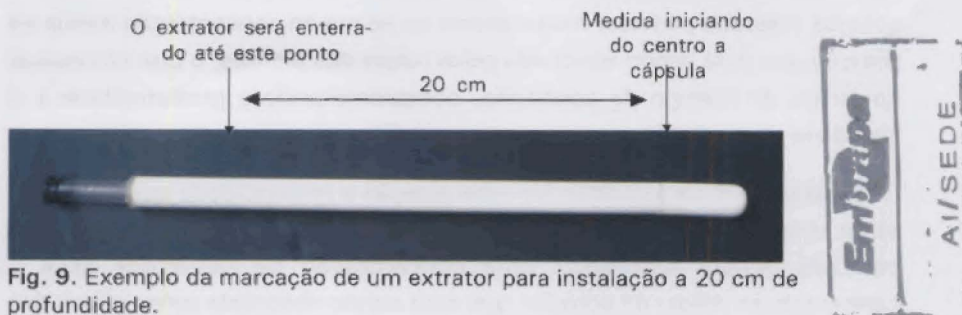


Fig. 9. Exemplo da marcação de um extrator para instalação a 20 cm de profundidade.

Insira o extrator na vertical, sem promover torções laterais, principalmente se o furo estiver muito justo, pois isso poderá quebrar a cápsula porosa, que é muito frágil. Após inserir totalmente o extrator (até a marca feita previamente, de acordo com a profundidade desejada de instalação), preencha a folga existente entre as laterais do extrator e a parede do furo com terra fina (peneirada), para que a cápsula tenha um bom contato com o solo e o extrator fique firme. Caso haja dificuldade no preenchimento com a terra fina na região da cápsula, faça um pouco de barro com terra peneirada e água e coloque no fundo do furo antes de inserir o extrator. A quantidade de barro deve ser suficiente para envolver completamente a cápsula após a inserção do extrator. Depois faça o acabamento, preenchendo as laterais do tubo com terra seca.

O ideal é que se espere alguns dias até fazer a coleta da solução do solo pela primeira vez, para que haja tempo do solo ao redor da cápsula se reestruturar em torno desta, garantindo um bom contato. Se a aplicação do vácuo no extrator for realizada imediatamente, ou nas primeiras horas, após sua instalação, corre-se o risco de coletar apenas a própria água de irrigação, que infiltrou e se acumulou ao redor da cápsula, e não a solução do solo.

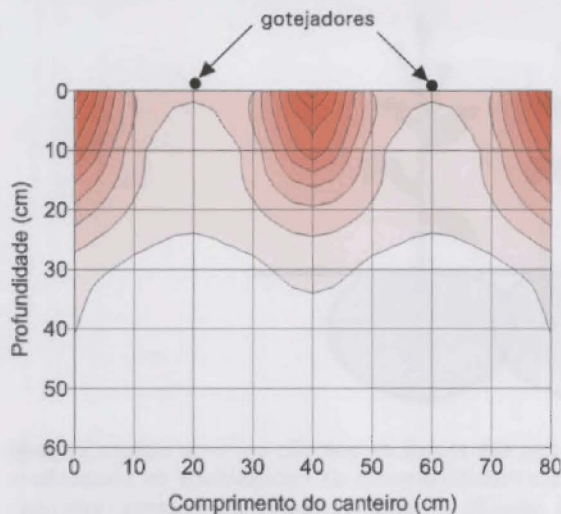
## Local de instalação

O local de instalação do extrator é uma das principais questões quando se pretende utilizar estes equipamentos para o manejo da adubação das culturas. Se o local de instalação não for adequado, a concentração de nutrientes na solução coletada pode ser muito abaixo ou acima da concentração média da solução que está sendo absorvida pelas raízes das plantas, o que irá resultar em erros de manejo da adubação, comprometendo a produtividade e a qualidade da produção.

O extrator deve ser instalado em uma posição e profundidade que permitam obter uma amostra representativa da solução do solo, isto é, a solução coletada deverá apresentar uma concentração de nutrientes igual à concentração média da solução que está sendo absorvida pelas raízes das



plantas. Isso é mais difícil de ser conseguido na irrigação localizada do que na irrigação por aspersão, pois a distribuição de íons no solo sob irrigação localizada é dependente da direção de caminhamento da água no solo, o que promove um forte gradiente de concentração, como mostra a Fig. 10.



**Fig. 10.** Distribuição de íons no perfil de um solo argiloso, irrigado por gotejamento, em ambiente protegido (Blanco, 1999).

Visto que a dimensão (largura x profundidade) do bulbo molhado na irrigação por gotejamento é muito variável, pois depende do tipo de solo, da umidade do solo no momento inicial da aplicação de água, da vazão dos gotejadores, dentre outros fatores, então torna-se difícil adotar uma localização padronizada para os extratores. O que se tem feito atualmente é adotar a posição dos extratores como sendo aquela onde, provavelmente, haverá maior quantidade de raízes absorventes, pois é dessa região do solo que a planta absorve maior quantidade de solução.

Na irrigação por gotejamento, esta região está localizada em torno da metade da distância entre a planta e a largura máxima do bulbo molhado. Também é recomendável a instalação de um extrator imediatamente

abaixo da profundidade efetiva do sistema radicular, que servirá para monitorar se os nutrientes não estão sendo perdidos em profundidade. O esquema de instalação dos extratores está ilustrado na Fig. 11.

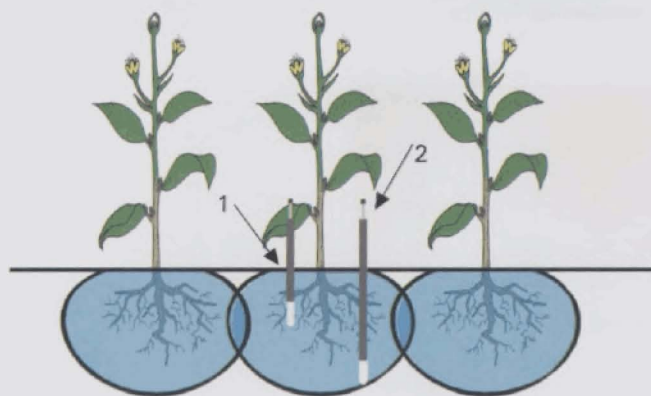


Fig. 11. Posição de instalação dos extratores de solução em uma cultura irrigada por gotejamento. 1- extrator para monitoramento da necessidade de adubação e concentração de nutrientes na solução do solo na região do sistema radicular; 2- extrator para avaliação da perda de nutrientes em profundidade.

## Coleta da solução do solo

A coleta da solução do solo é feita mediante a aplicação de vácuo no interior do extrator, o qual pode ser aplicado utilizando uma bomba de vácuo (Fig. 12) ou uma seringa grande (seringa cirúrgica) de 50 ou 60 mL. Para o vácuo com seringa, deve-se inserir a agulha na rolha de borracha e retirar o ar do interior do extrator; este procedimento deve ser repetido de três a cinco vezes (mais vezes para extratores instalados a maiores profundidades).





Fig. 12. Aplicação do vácuo no extrator utilizando uma bomba de vácuo manual.

O ideal é que o vácuo aplicado seja em torno de  $-70$  a  $-80$  kPa, pois está próximo ao limite suportado pela cápsula porosa. Como o vácuo no interior do extrator reduz ao longo do tempo, então quanto mais próximo desse limite, mais tempo o extrator permanecerá com vácuo e maior será o volume de solução coletado.

A vantagem de se utilizar a bomba de vácuo é a facilidade e rapidez na aplicação do vácuo, principalmente quando se trabalha com grande quantidade de extratores. Além disso, a operação é realizada com apenas um furo na rolha, enquanto que com a seringa são necessários vários furos para que se consiga aplicar o vácuo necessário, reduzindo bastante a vida útil da rolha.

O vácuo deve ser aplicado após 6 a 12 horas do término de uma irrigação ou chuva e a solução deve ser retirada após 12 a 24 horas da aplicação do vácuo. Para isso, utiliza-se de uma seringa com uma mangueira fina (diâmetro = 6 mm) de silicone acoplada à sua

extremidade, a qual deve ser inserida até o fundo do extrator. Deve-se retirar toda a solução presente no extrator, pois a solução remanescente contaminará a amostra seguinte.

Um detalhe importante no momento de retirar a rolha é utilizar as duas mãos; com uma mão segura-se o extrator e com a outra retira-se a rolha. Isso é muito importante, principalmente para extratores instalados a menores profundidades, pois nas camadas mais superficiais o solo é mais "solto" e a retirada da rolha sem esta precaução pode fazer com que o extrator se desprenda do solo.

O extrator não exige manutenção periódica. Antes da instalação, deve-se imergir o extrator em uma solução de HCl 1N de modo que pelo menos 1 L da solução passe através da cápsula para eliminar qualquer impureza. Feito isso, deve-se lavar bem o extrator com água pura antes de instalá-lo no campo para retirar qualquer resíduo do HCl utilizado.

## **Análise da solução do solo**

As plantas necessitam de um suprimento adequado de nutrientes durante todo o seu período de crescimento e, para isso, a concentração de nutrientes na solução do solo tem que ser mantida em um nível satisfatório (MENGEL; KIRKBY, 1987). Recentemente, métodos práticos têm sido avaliados para o monitoramento da concentração de nutrientes na solução do solo, principalmente para fins de manejo da fertirrigação.

O método mais antigo e mais conhecido e utilizado pelos agricultores e extensionistas é aquele que utiliza fitas impregnadas com reagentes específicos para determinação dos níveis de nutrientes que, quando em contato com a solução, reagem com o íon específico resultando em cores de diferentes tonalidades. A coloração obtida é comparada com uma tabela que indica a faixa de concentração que o determinado íon se encontra naquela solução, não fornecendo, portanto, uma determinação precisa do nível de nutriente.

Mais recentemente, com o avanço tecnológico, apareceram os medidores portáteis de nutrientes a partir de eletrodos de íons específicos, os quais permitem uma leitura direta, rápida e confiável, além de realizarem as leituras à partir de poucas gotas do material a ser analisado (seiva ou solução do solo), apresentando grande redução dos custos quando comparado às análises laboratoriais (BLANCO, 2004).

A análise da solução do solo deve ser feita imediatamente após a sua retirada do extrator, pois a luminosidade e a temperatura estimulam os microrganismos presentes na solução, o que altera a sua composição. Caso a análise não possa ser realizada rapidamente (no mesmo dia da coleta), recomenda-se mantê-la sob refrigeração, a 4 °C, até o momento da análise.

## **Interpretação dos resultados da análise da solução do solo**

Os resultados da análise da solução do solo devem ser adequadamente interpretados, pois esta é a etapa final de todo o processo de construção, instalação e utilização do extrator e da análise da solução coletada. Talvez esta seja a etapa mais difícil de ser executada, pois depende não somente da concentração dos nutrientes na solução, como também do conhecimento da cultura, do solo, da fonte de nutriente utilizada (tipo de fertilizante), do manejo da irrigação, dentre outros fatores que compõe o manejo da cultura.

Primeiramente, deve-se conhecer o nível adequado de cada nutriente na solução do solo para a cultura em questão, pois só assim será possível avaliar se a aplicação de fertilizantes será necessária. Entretanto, estes níveis ainda não foram devidamente estabelecidos para as diferentes culturas e para cada fase fenológica, havendo apenas recomendações gerais da concentração dos principais nutrientes (nitrogênio e potássio).

Na Tabela 1 encontram-se as recomendações das concentrações de nitrato e potássio requeridas na solução do solo para algumas culturas. Para as culturas que apresentam três valores para cada nutriente (por exemplo, 60-370-500 mg L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> para pepino), o primeiro, segundo e terceiro valores referem-se à concentração nas fases inicial, intermediária e final do ciclo, respectivamente.

**Tabela 1.** Concentrações de nitrato e potássio na solução do solo recomendadas para algumas culturas.

Cultura	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg L <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup>	Tipo de solo	Referência
Pimentão	450 200	10 25	Argiloso Siltoso	Burgueño (1996) Burgueño (1996)
Laranja Pêra (muda)	100-200-100	-	Franco-arenoso	Machado (2004)
Melão (ambiente protegido)	-	30-60-50	Argiloso	Vasquez (2003)
Pepino	60-370-500	-		Papadopoulos (1986)
Tomate	400-300-300 50-100-60	10-30-30 30-50-50	Argiloso Siltoso	Burgueño (1996)
Culturas em geral <sup>(1)</sup>	220 a 330	20 a 60	-	Burt, O'connor e Ruehr (1998)

<sup>(1)</sup>Quando não se têm informações sobre os níveis adequados para a cultura de interesse, podem-se utilizar estes valores como referência.

Os valores apresentados na Tabela 1 são resultados de pesquisa e recomendações gerais, mas podem variar bastante para cada caso específico. Por exemplo, para o tomate em fase de produção, Burgueño (1996) recomenda concentração de 300 e 60 mg L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, para solos argilosos e siltosos, respectivamente, uma diferença de cinco vezes. No caso do K<sup>+</sup>, apesar deste nutriente ser absorvido em grande quantidade pelas culturas, sua concentração na solução do solo não necessita ser demasiadamente alta, pois o solo tem a capacidade de adsorver K<sup>+</sup> em seus colóides, o qual é liberado aos poucos para a solução (absorção por difusão). Isso não acontece com o NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, que, por

ser um ânion, praticamente toda a quantidade de  $\text{NO}_3^-$  presente no solo está dissolvida na solução do solo e, portanto, necessita de concentrações mais altas para poder suprir as necessidades das plantas (absorção por fluxo de massa).

Além do tipo de solo, diferentes cultivares ou híbridos de uma mesma cultura podem apresentar grande variação em suas exigências nutricionais, necessitando de manejo específico. Assim, é de grande utilidade comparar as concentrações de nutrientes na solução com a produção obtida, de tal forma que o produtor faça uma calibração destas recomendações para a sua propriedade.

## **Limitações dos extratores de cápsula porosa**

Apesar da praticidade, baixo custo, e demais vantagens apresentadas pelo extrator de cápsula porosa para coletar a solução do solo, quando comparado aos outros métodos, este equipamento apresenta algumas limitações, tanto de ordem construtiva quanto de ordem prática.

Uma limitação do extrator de cápsula porosa é a impossibilidade de coletar a solução do solo sob altas tensões (solo mais seco), pois, para que a solução seja coletada, a tensão da água no solo no momento da aplicação do vácuo deverá ser inferior à tensão máxima de funcionamento do extrator, que é em torno de 80 kPa. Apenas para comparação, as raízes das plantas conseguem absorver a água do solo até tensões próximas a 1500 kPa. Portanto, o extrator é capaz de coletar a solução apenas para solos com alta disponibilidade de água, o que só é conseguido após uma chuva ou irrigação.

Após algum tempo de uso no campo, pode ocorrer entupimento dos poros da cápsula. Este entupimento pode ser causado pela precipitação de compostos da solução do solo, especialmente fosfatos e sulfatos de hidróxido de alumínio, além da "filtração" de colóides (argila e matéria orgânica) e outras macromoléculas presentes no solo, que ficam retidas

nos poros da cápsula (WENZEL; WIESHAMMER, 1995). O entupimento reduz o volume de solução coletado, além de aumentar o tempo de espera entre a aplicação do vácuo e a retirada da solução do interior do extrator devido à redução da condutância hidráulica da cápsula com o entupimento.

Talvez o problema mais comum na prática seja relacionado à perda de contato entre a cápsula e o solo, que pode ter diferentes causas, como a retração do solo na região da cápsula (para solos expansivos ou com alto teor de argila) e problemas relacionados ao mal uso do extrator, por exemplo, a falta de cuidado na retirada da rolha, que pode movimentar o extrator, como comentado anteriormente.

## **Considerações finais**

Como apresentado neste manual, o extrator de cápsula porosa é um equipamento bastante útil no manejo da adubação de culturas irrigadas. Sua praticidade, baixo custo e a possibilidade de realizar as determinações das concentrações de diferentes nutrientes na solução em tempo real são atrativos responsáveis pela disseminação desta técnica em áreas cultivadas sob irrigação no Brasil.

Atualmente têm-se informações de que os extratores de cápsula porosa vêm sendo utilizados em diversas hortaliças e fruteiras, principalmente nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil. Geralmente, engenheiros agrônomos consultores na área de irrigação são quem fazem uso deste equipamento, principalmente pela agilidade na obtenção dos resultados, o que permite inferir no manejo da adubação e efetuar ajustes nas quantidades aplicadas diversas vezes durante o ciclo da cultura.

Considerando-se a área irrigada no Brasil, pode-se dizer que o monitoramento da solução do solo ainda é muito pouco utilizado, mas com tendência de aumento devido às necessidades cada vez maiores de se praticar uma agricultura sustentável e ambientalmente correta.

## Referências

- ASADI, M. E.; CLEMENTE, R. S.; GUPTA, A. D.; LOOF, R.; HANSEN, G. K. Impacts of fertigation via sprinkler irrigation on nitrate leaching and corn yield in an acid-sulphate soil in Thailand. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 52, n. 3, p. 197-213, 2002.
- BLANCO, F. F. **Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo**. 1999. 104 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BLANCO, F. F. **Tolerância do tomateiro à salinidade sob fertirrigação e calibração de medidores de fons específicos para determinação de nutrientes na solução do solo e na planta**. 2004. 115 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Rural.
- Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BURGUEÑO, H. **La fertigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico**. 2. ed. Culiacán, 1996. v. 2, 70 p. Bursag, S. A. de C. V., editor da 2. ed.
- BURGUEÑO, H.; URIBE, F.; VALENZUELA, M. **La fertigación en cultivos hortícolas com acolchado plástico: extracción de nutrientes por los cultivos de tomate y bell pepper en el Valle de Culiacán, Sin., México**. Culiacán, 1994. 45 p.
- BURT, C.; O’CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: The Irrigation Training & Research Center, 1998. 295 p.
- CAMERON, F. K. **The soil solution: the nutrient medium for plant growth**. Easton: The Chemical Publishing, 1911. 136 p.
- CARPENA, R. M.; RITTER, A.; SOCORRO, A. R.; PÉREZ, N. Nitrogen evolution and fate in a Canary Islands (Spain) sprinkler fertigated banana plot. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 52, n. 2, p. 93-117, 2002.
- FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986. p. 1592.

GROSSMANN, J.; UDLUFT, P. The extraction of soil water by the suction-cup method: a review. *Journal of Soil Science*, Oxford, v. 42, n. 1, p. 83-93, 1991.

HANSEN, E. A.; HARRIS, A. R. Validity of soil-water samples collected with porous ceramic cups. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v. 39, n. 3, p. 528-536, 1975.

HOAGLAND, D. R.; MARTIN, J. C.; STEWART, G. R. Relation of the soil solution to the soil extract. *Journal of Agricultural Research*, Lahore, v. 20, n. 5, p. 381-395, 1920.

KRONE, R.B.; LUDWIG, H.F.; THOMAS, J.F. Porous tube device for sampling solutions during water-spreading operations. *Soil Science*, v.73, n.3, p.211-219, 1952.

MACHADO, C.C. Consumo de soluções fertilizantes por plantas adultas de lima ácida 'Tahiti' sobre limão 'Cravo' em irrigação localizada. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Rural. Piracicaba: Universidade de São Paulo/ESALQ, 2004.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. *Principles of plant nutrition*. 4. ed. Switzerland: International Potash Institute, 1987. 687 p.

MIRANDA, J. Caracterização da solução do solo e das propriedades físicas e químicas de um latossolo vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. 1993. 65 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MORAES, J. F. V.; DYNIA, J. F. Uso de cápsulas porosas para extrair solução do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 25, n. 10, p. 1523-1528, 1990.

MOSS, P. Some aspects of the cation status of soil moisture. Part I: The ratio law and soil moisture content. *Plant and Soil*, The Hague, v. 18, n. 1, p. 99-113, 1963.

NELSON, P. V.; FABER, W. R. Bulk solution displacement. *HortScience*, Alexandria, v. 21, n. 2, p. 225-227, 1986.

PAPADOPOULOS, I. Nitrogen fertigation of greenhouse-grow cucumber. *Plant and Soil*, The Hague, v. 93, n. 1, p. 87-93, 1986.



PILBEAM, C. J.; GREGORY, P. J.; MUNANKARMY, R. C.; TRIPATHI, B. P. Leaching of nitrate from cropped rainfed terraces in the mid-hills of Nepal. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Berlin, v. 69, n. 3, p. 221-232, 2004.

QIAN, P.; WOLT, J. D. Effects of drying and time of incubation on the composition of displaced soil solution. **Soil Science**, Baltimore, v. 149, n. 6, p. 367-374, 1990.appraisal. **Soil Science**, Baltimore, v. 99, n. 5, p. 339-344, 1965.

RICHARDS, L. A. A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. **Soil Science**, Baltimore, v. 51, n. 5, p. 377-386, 1941.

SHIMSHI, D. Use of ceramic points for the sampling of soil solution. **Soil Science**, Baltimore, v. 101, n. 2, p. 98-103, 1966.

SILKWORTH, D. R.; GRIGAL, D. F. Field comparison of soil solution samplers. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 45, n. 2, p. 440-442, 1981.

SMETHURST, P. J. Soil solution and other soil analyses as indicators of nutrient supply: a review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 138, n. 1/3, p. 397-411, 2000.

SUAREZ, D. L. Prediction of pH errors in soil-water extractors due to degassing. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, n. 1, p. 64-67, 1987.

TYLER, G.; OLSSON, T. Concentrations of 60 elements in the soil solution as related to the soil acidity. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 52, n. 1, p. 151-165, 2001.

VÁSQUEZ, M. A. N. **Fertirrigação por gotejamento superficial e subsuperficial no meloeiro (*Cucumis melo* L.) sob condições protegidas**. 2003. 152 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

WAGNER, G. H. Use of porous ceramic cups to sample soil water within the profile. **Soil Science**, Baltimore, v. 94, p. 379-387, 1962.

WENZEL, W. W.; WIESHAMMER, G. Suction cup materials and their potential to bias trace metal analyses of soil solutions: a review. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, Londres, v. 59, n. 2, p. 277-290, 1995.

WOLT, J. D. **Soil solution chemistry: applications to environmental science and agriculture.** New York: Wiley, 1994. 345 p.

WOOD, A. L.; WILSON, J. T.; COSBY, R. L.; HORNSBY, A. G.; BASKIN, L. B. Apparatus and procedure for sampling soil profiles for volatile organic compounds. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, n. 2, p. 442-444, 1981.



Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento

